

10/577745

IA P17 Rec'd PCT/PTO 27 APR 2006

1

## Reaktor und Verfahren zur anaeroben Abwasserbehandlung

5

Diese Erfindung betrifft einen Reaktor und ein Verfahren zur anaeroben Abwasserbehandlung.

10 Zur Behandlung organisch verschmutzter Abwässer ist es bekannt, anaerobe Verfahren bzw. anaerob arbeitende Abwasserbehandlungssysteme zu verwenden. Die im Abwasser enthaltene Schmutzfracht wird bei Einsatz der Anaerobtechnik mit Hilfe von entsprechenden Mikroorganismen in den regenerativen Energieträger Biogas überführt, der Einsparungen beim Energiebezug ermöglicht. Die dazu verwendeten Verfahren beinhalten sowohl einfache Verfahren  
15 ohne Biomasseanreicherung als auch Hochleistungsverfahren mit in der Regel interner Biomasseanreicherung.

Kommunale Abwässer sind vergleichsweise gering belastet mit einem chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) von ca. 500 mg/l und werden in der Regel mit  
20 aeroben Belebtschlammverfahren behandelt. In der Lebensmittelindustrie treten erheblich höher organisch belastete Abwässer mit CSB von über 1 000 und bis zu 100 000 mg/l und mehr auf. Zur Reinigung solcher Abwässer kommen Hochleistungsverfahren zum Einsatz.

25

Das am meisten verbreitete Verfahren ist das sogenannte UASB-Verfahren (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Verfahren). In UASB Reaktoren findet eine interne Biomasseanreicherung in Form eines sich ausbildenden und sehr gut granulierenden Schlamms statt. Die Mikroorganismen aggregieren zu sogenannten Pellets. Das sind Aggregate mit einer Größe von ca. 1 bis 3 mm. Die  
30 Reaktoren werden im Upflow-Betrieb betrieben, d.h. die Abwässer strömen von unten nach oben durch den Reaktor. Durch den stoffwechselbedingten Abbau der organischen Verunreinigungen entstehen Gase, die in Form von Gasbläschen an den Pellets haften. Infolgedessen steigen die Pellets nach oben,

35 was zur Durchmischung im System führt. Im oberen Bereich des UASB Reak-  
tors ist ein Separatorsystem vorgesehen, welches dazu dient, die Pellets in dem  
Reaktor zurückzuhalten. Ein Vorteil dieser Reaktoren ist, daß sie eine relativ  
einfache Konstruktion, z.B. als Schlaufenreaktor aufweisen können. Ein solcher  
Reaktor ist in DE 43 33 176 beschrieben. Ein Nachteil dieser Technik ist, daß bei  
40 hohen CSB-Konzentrationen ab etwa 20 bis 30 g/l die Gasentwicklung so stark  
wird, daß die Pellets sehr schnell nach oben steigen und daß trotz der Separa-  
torsysteme ein erheblicher Verlust an Biomasse eintritt. Dies wird als "Wash-  
Out-Effekt" bezeichnet. Hinzukommt, daß diese Systeme relativ empfindlich  
gegen Vergiftung (gegen einen sogenannten toxischen Stoß) sind. Diese Sy-  
45 steme können nach einer Havarie des Reaktors zwar relativ schnell hochgefah-  
ren werden, indem man wieder mit neuer Biomasse animpft, allerdings stellt  
dies einen Kostenfaktor dar. Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens ist, daß nur  
Mikroorganismen verwendet werden können, die Pellets bilden, was die Aus-  
wahl an Mikroorganismen stark einschränkt. In der Regel werden methanogene  
50 Bakterien hauptsächlich der Gattung Methanotrix verwendet.

Ein anderes Hochleistungsverfahren verwendet Festbettreaktoren, wobei inerte  
Trägermaterialien als Schüttungen, Packungen oder auch fixierte Trägermate-  
rialien, z.B. in Form von plattenförmigen Trägerelementen, von Mikroorganis-  
55 men besiedelt werden. Ein solcher Reaktor ist im Patent DE 43 09 779 der glei-  
chen Anmelderin beschrieben. In Festbettreaktoren können sehr stark ver-  
schmutzte Abwässer mit CSB-Konzentrationen von über 80 g/l behandelt  
werden. Ein Nachteil des Festbettreaktors ist, daß vor allem bei Hochleistungs-  
trägermaterialien die Kosten hoch sind.

60 Daneben sind auch Wirbelbettreaktoren bekannt, in dem die Biomasse auf ei-  
nem fluidisierten Festbett, z.B. Aktivkohle oder Sand, immobilisiert ist, welches  
im Reaktor verwirbelt wird. Dies bedingt einen hohen Energiebedarf zur Auf-  
rechterhaltung des Wirbelbetts, woraus auch eine hohe Belastung der Reakto-  
65 ren resultiert. Die Konstruktion von Wirbelbettreaktoren ist dementsprechend  
technisch anspruchsvoll und aufwendig.

35 was zur Durchmischung im System führt. Im oberen Bereich des UASB Reak-  
tors ist ein Separatorsystem vorgesehen, welches dazu dient, die Pellets in dem  
Reaktor zurückzuhalten. Ein Vorteil dieser Reaktoren ist, daß sie eine relativ  
einfache Konstruktion, z.B. als Schlaufenreaktor aufweisen können. Ein solcher  
Reaktor ist in DE 43 33 176 beschrieben. Ein Nachteil dieser Technik ist, daß bei  
40 hohen CSB-Konzentrationen ab etwa 20 bis 30 g/l die Gasentwicklung so stark  
wird, daß die Pellets sehr schnell nach oben steigen und daß trotz der Separa-  
torsysteme ein erheblicher Verlust an Biomasse eintritt. Dies wird als "Wash-  
Out-Effekt" bezeichnet. Hinzukommt, daß diese Systeme relativ empfindlich  
gegen Vergiftung (gegen einen sogenannten toxischen Stoß) sind. Diese Sy-  
45 steme können nach einer Havarie des Reaktors zwar relativ schnell hochgefah-  
ren werden, indem man wieder mit neuer Biomasse animpft, allerdings stellt  
dies einen Kostenfaktor dar. Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens ist, daß nur  
Mikroorganismen verwendet werden können, die Pellets bilden, was die Aus-  
wahl an Mikroorganismen stark einschränkt. In der Regel werden methanogene  
50 Bakterien hauptsächlich der Gattung Methanotrix verwendet.

Ein anderes Hochleistungsverfahren verwendet Festbettreaktoren, wobei inerte  
Trägermaterialien als Schüttungen, Packungen oder auch fixierte Trägermate-  
rialien, z.B. in Form von plattenförmigen Trägerelementen, von Mikroorganis-  
55 men besiedelt werden. Ein solcher Reaktor ist im Patent DE 43 09 779 der glei-  
chen Anmelderin beschrieben. In Festbettreaktoren können sehr stark ver-  
schmutzte Abwässer mit CSB-Konzentrationen von über 80 g/l behandelt  
werden. Ein Nachteil des Festbettreaktors ist, daß vor allem bei Hochleistungs-  
trägermaterialien die Kosten hoch sind.

60 Daneben sind auch Wirbelbettreaktoren bekannt, in dem die Biomasse auf ei-  
nem fluidisierten Festbett, z.B. Aktivkohle oder Sand, immobilisiert ist, welches  
im Reaktor verwirbelt wird. Dies bedingt einen hohen Energiebedarf zur Auf-  
rechterhaltung des Wirbelbetts, woraus auch eine hohe Belastung der Reakto-  
65 ren resultiert. Die Konstruktion von Wirbelbettreaktoren ist dementsprechend  
technisch anspruchsvoll und aufwendig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Reaktor und ein Verfahren zur  
70 anaeroben Abwasserbehandlung zur Verfügung zu stellen, der , bzw. das, für  
stark belastete Abwässer geeignet ist und störungsarm arbeitet sowie ver-  
gleichsweise kostengünstig ist.

Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Reaktor zur anaeroben Abwasserbe-  
75 handlung, aufweisend folgende Merkmale:

- (a) ein zentraler, von oben nach unten führender Strömungskanal, der  
oben mit einem ersten Abstand von der oberen Reaktorbegrenzung  
endet und unten mit einem zweiten Abstand von der unteren Reaktor-  
80 begrenzung endet;
- (b) in dem Ringraum zwischen dem zentralen Strömungskanal und der  
Reaktorwand sind für die gesamte Höhe des Strömungskanals oder für  
einen Teil der Höhe des Strömungskanals Trägerelemente zum Immo-  
bilisieren von Mikroorganismen in Form eines strukturierten, geordne-  
85 ten Festbetts positioniert, wobei zwischen benachbarten Trägerele-  
menten Durchströmungswege vorhanden sind;
- (c) ein unterer Bereich des Reaktors zwischen seiner unteren Begrenzung  
und den Trägerelementen ist als Raum ausgebildet, der dafür bestimmt  
ist, beim Betrieb des Reaktors Abwasser mit darin schwebenden Mi-  
90 kroorganismen aufzunehmen;
- (d) ein oberer Bereich des Reaktors zwischen seiner oberen Begrenzung  
und den Trägerelementen;
- (e) der Reaktor ist hinsichtlich seiner Innenströmung als Schlaufenreaktor  
ausgebildet derart, dass enthaltenes Abwasser durch den zentralen  
95 Strömungskanal nach unten, dann durch den Raum im unteren Bereich,  
dann an den Trägerelementen entlang nach oben, und schließlich wie-  
der in den zentralen Strömungskanal zirkuliert werden kann.
- (f) eine Zuleitung für erstmalig in den Reaktor einzubringendes, zu behan-  
delndes Abwasser;
- 100 (g) ein Abzugssystem zum abschließendem Ausbringen von behandeltem  
Abwasser aus dem Reaktor.

Die Erfindung schafft einen Hybrid-Reaktor (bzw. ein Hybrid-Verfahren), welcher (bzw. welches) die Vorteile von Festbettreaktoren und UASB Reaktoren vereint.

Der Reaktor kann zylinderförmig ausgebildet sein, andere Reaktorgeometrien sind ebenfalls möglich, z.B. zylinderartige Anordnungen mit elliptischer oder mehreckiger Grundfläche oder quaderförmige Anordnungen.

Der Raum im unteren Bereich kann Abwasser mit darin schwebenden Mikroorganismen-Pellets aufnehmen. Die Mikroorganismen entwickeln stoffwechselbedingt Gase, die als Bläschen an den Pellets haften und dadurch die Pellets nach oben tragen. Als Mikroorganismen werden bevorzugt Bakterien der Gattung Methanotrix verwendet.

Bevorzugt ist im oberen Bereich ein Separatorsystem angeordnet, welches im Abwasser schwebende Mikroorganismen im Reaktor zurückhält.

Ferner weist der Reaktor bevorzugt ein Rezirkulationssystem, auf welches einen Entnehmer für Abwasser und einen Zuführer für Abwasser zur Strömungsabgabe in den zentralen Strömungskanal aufweist.

Der Entnehmer weist bevorzugt einen Zwischenraum zwischen zwei plattenartigen Elementen und eine in dem Zwischenraum beginnende Leitung aufweist.

Es ist besonders bevorzugt, dass das Abzugssystem zum abschließenden Ausbringen von Behandelten Abwasser ein Stück oberhalb des Entnehmers des Rezirkulationssystems positioniert ist.

Mikroorganismen-Pellets, welche in den oberen Bereich des Reaktors aufsteigen werden vom Separatorsystem zurückgehalten, geben die anhaftenden Gasbläschen ab und sinken aufgrund ihrer größeren Dichte wieder nach unten ab. Das Separatorsystem kann sowohl zum Abscheiden der entstanden Gase als auch zum Zurückhalten der Biomasse dienen.

Das Separatorsystem weist bevorzugt eine Trennwand mit Abstand oberhalb des oberen Endes des zentralen Strömungskanals auf, welche einen Großteil des Reaktorquerschnitts überdeckt und eine äußere Ringfläche freilässt.

140

Bevorzugt ist der Entnehmer des Rezirkulationssystems an der Oberseite der Trennwand positioniert. Im Raum oberhalb des Entnehmers des Rezirkulationssystems wird so eine strömungsberuhigte Zone geschaffen, die ein Ausbringen von behandeltem Abwasser ohne Biomasseaustrag unterstützt, insbesondere, da es – wie oben erwähnt – bevorzugt ist, dass das Abzugssystem zum abschließenden Ausbringen von Behandeltem Abwasser ein Stück oberhalb des Entnehmers des Rezirkulationssystems positioniert ist.

145

Es wird betont, daß das beschriebene Rezirkulationssystem sowie die beschriebene Trennung von Entnehmer des Rezirkulationssystems und Abzugssystem einerseits eine bevorzugte Weiterbildung der offenbarten Erfindung darstellen, aber andererseits auch ohne die Merkmale (oder nur mit einem Teil der Merkmale) des Anspruchs 1 technisch verwirklichtbar sind. Ein typisches Beispiel ist die Verwirklichung bei einem UASB-Reaktor, der nicht ein Hybrid-Reaktor im Sinne der vorliegenden Anmeldung ist.

150

155

Bevorzugt verläuft die Trennwand des Separatorsystems bereichsweise nicht-horizontal und bildet in einem höchsten Bereich einen Gassammelraum.

160

Ferner ist es bevorzugt, dass von dem höchsten Bereich die Trennwand – grob gesprochen – schräg nach aussen abwärts und schräg nach innen abwärts verläuft.

165

Im oberen Bereich des Reaktors beginnt vorzugsweise eine erste Abführungsleitung für in dem Reaktor gebildetes Gas.

Es ist ferner bevorzugt, dass im Bereich der Trennwand eine zweite Abführungsleitung für in dem Reaktor gebildetes Gas beginnt.



- 170 Im Reaktor sind Trägerelemente vorgesehen. Die Trägerelemente können in Form von Platten ausgebildet sein. Bevorzugt sind die Trägerelemente parallel zueinander angeordnet. Die Platten können in Paketen angeordnet sein, wobei die Platten innerhalb der Pakete in Tangentialrichtung des Reaktors angeordnet sind. Die Trägerelemente sind über dem Raum im unteren Bereich angeordnet, so daß die nach oben schwebenden Pellets zwischen den Platten hindurch  
175 strömen. Auf den Trägerelementen bildet sich beim Betrieb des Reaktors ein Mikroorganismenbewuchs. Es ist bevorzugt, daß zwischen den Trägerelementen ein Abstand von 3–6 cm, vorzugsweise 3,5 – 5,5 cm, vorhanden ist.
- 180 Die Trägerelemente können aus einem inertem Material mit großer Oberfläche bestehen. Bevorzugt bestehen sie aus einem durchströmungsporösen Material. Besonders bevorzugt bestehen die Trägerelemente im wesentlichen aus miteinander vereinigten Kunststoff-Teilchen und Blähton-Teilchen. Polyethylen-  
185 teilchen sind bevorzugt, wobei andere Kunststoffe möglich sind. Die Mikroorganismen können in den Poren des Blähtons und in den Poren zwischen den Teilchen siedeln und auf den Trägerelementen einen film- oder rasenartigen Bewuchs bilden. Im Falle einer Havarie des Reaktors, z.B. aufgrund eines toxischen Stosses, wird der Mikroorganismenfilm zwar zerstört. Aus den Poren des porösen Tragermaterials heraus können die Mikroorganismen allerdings schnell  
190 wieder wachsen und den Film auf den Platten regenerieren. Die Platten der Trägerelemente können mit einer Vielzahl von Mikroorganismen, z.B. Bakterien, besiedelt werden. Es ist möglich die Trägerelemente gleichzeitig mit unterschiedlichen Spezies zu besiedeln. Die Trägerelemente können mit der gleichen Spezies besiedelt werden, welche freie schwebende Aggregate bzw. Pellets bildet. Ebenso können die Trägerelemente mit anderen Spezies besiedelt werden als Jenen, welche die Pellets bildet bzw. bilden. Dadurch können die Vorteile des UASB-Verfahrens mit dem Vorteil einer größeren Vielfalt verwendbarer Mikroorganismen kombiniert werden.
- 195
- 200 Die Trägerelemente können mit sessilen Mikroorganismen besiedelt werden. Insbesondere können sie besiedelt werden mit den Gattungen Sytrophobacter, Sytrophomas, Methanotrix, Methanosarcina und Methanococcus.

Die Erfinder haben gefunden, daß die Synergieeffekte (hohe Leistungsfähigkeit bei stabilem Betrieb) aus der Kombination eines Festbettreaktors und eines UASB Reaktors bereits bei einem relativ geringen Anteil von Trägerplatten bezogen auf das Reaktorvolumen auftreten. Es ist daher bevorzugt, daß der Anteil des Reaktorvolumens der mit Trägerplatten belegt ist, 15 bis 40% beträgt. Besonders bevorzugt beträgt der Anteil 20 bis 30%.

210

Bevorzugt ist im unteren Bereich des Reaktors ein Strömungsumlenker an der Wand positioniert. Dieser Strömungsumlenker hat die Aufgabe, den Abwasserstrom von der Reaktorwand zu lösen und vergleichmäßig zu den Trägerelementen zu leiten.

215

Der Reaktor kann bevorzugt mindestens eine Treibstrahlmündung aufweisen, die unterhalb des unteren Endes des zentralen Strömungskanals endet. Diese dient dazu, Mikroorganismen, die sich auf dem Reaktorboden abgesetzt haben, aufzuwirbeln. Die Mündung kann an ihrem Ende eine Düse aufweisen

220

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird ferner gelöst durch ein Verfahren zur anaeroben Abwasserbehandlung in einem Reaktor, in welchem zu behandelndes Abwasser zirkuliert, dergestalt, daß Abwasser

225

(a) zentral von oben nach unten strömt;

(b) dann in einem Raum im unteren Bereich des Reaktors mit in dem Abwasser schwebenden Mikroorganismen in Kontakt ist;

230

(c) dann in einem darüber befindlichen Raum des Reaktors an Mikroorganismen entlang strömt, die in Form eines strukturierten geordneten Festbetts auf Trägerelementen angeordnet sind;

235

(d) und schließlich wieder in die zentrale Strömung von oben nach unten übergeht.



Nach Entlangströmen an den Mikroorganismen auf den Trägerelementen wird bevorzugt ein Teil des Abwassers abgezweigt und in den zentralen Strömungskanal eingepumpt. Dadurch wird eine umlaufende Rezirkulation des Abwassers verbessert.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren sind die im Behandlungsraum schwebenden Mikroorganismen bevorzugt in Form von Pellets vorhanden. Die im Abwasser schwebenden Mikroorganismen werden durch ein Separatorsystem zurückgehalten. Bei dem Verfahren können als auf den Trägerelementen immobilisierte Mikroorganismen einerseits und als schwebende Mikroorganismen andererseits unterschiedliche Arten von Mikroorganismen vorgesehen sein. Auf den Trägerelementen können unterschiedliche Spezies von Mikroorganismen vorgesehen sein.

Reaktor und Verfahren der vorliegenden Erfindung können zur Behandlung von Abwässern, insbesondere zu anaeroben Behandlung von Abwässern verwendet werden.

Erfindungsgemäß werden insbesondere organisch belastete Abwässer aus der Getränke-, Futtermittel- oder Lebensmittelindustrie behandelt, wie z.B. Abwässer aus Stärke-verarbeitenden Betrieben und Anlagen, Getränkebetrieben, Brauereien, Spirituosen-Brennereien, Molkereien, Abwässer aus Fleisch- und Fisch-verarbeitenden Betrieben. Das erfindungsgemäße Verfahren und der Reaktor sind auch zur Behandlung von Abwässern aus der Papier- und Textil-industrie geeignet.

Im Folgenden wird eine Ausführungsform der Erfindung anhand der Zeichnungen beispielhaft dargestellt.

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors zur Abwasserbehandlung.

Fig. 2A ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Entnehmers von Abwasser des erfindungsgemäßen Reaktors.

Fig. 2B ist eine schematische Darstellung einer alternativen Ausführungsform eines Entnehmers von Abwasser des erfindungsgemäßen Reaktors.

Fig. 2C ist eine schematische Darstellung einer weiteren alternativen Ausführungsform eines Entnehmers von Abwasser des erfindungsgemäßen Reaktors.

Fig. 2D ist eine schematische Darstellung eines Abzugssystems des erfindungsgemäßen Reaktors.

Eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors wurde konstruiert und zur Behandlung von Abwässern in einem Brauereibetrieb eingesetzt.

In Fig. 1 ist der schematische Aufbau des Reaktors 10 dargestellt. Der Reaktor ist als Schlaufenreaktor konzipiert. Die Maße des zylinderförmigen Reaktors sind so ausgelegt, daß die Höhe zwischen 2,0 und 5,0 m beträgt und daß der Durchmesser zwischen 1,5 und 2,5 m beträgt. Die zu behandelnde Abwassermenge beträgt zwischen 10 und 20 m<sup>3</sup>/d. Die Ausmaße der anderen Reaktorbestandteile werden in Relation zu den Gesamtausmaßen anhand von Fig. 1 ersichtlich. Dieser Reaktor ist für den Versuchsbetrieb. Technische Ausführungen für Reaktoren im Großmaßstab haben deutlich größere Abmessungen, z.B. 5 bis 9 m Durchmesser und von 8 bis 12 m Höhe. Andere Reaktorgeometrien sind ebenfalls möglich, z.B. zylinderartige Anordnungen mit elliptischer oder mehreckiger Grundfläche oder quaderförmige Anordnungen.

Das Reaktorgehäuse 11 ist, wie aus dem Stand der Technik bekannt, im wesentlichen aus Edelstahlblechen.

300 Im Reaktor 10 ist in axialer Richtung ein zentrales Rohr 20 ausgebildet, welches ein Stück vom oberen Ende des Reaktors beginnt und in den unteren Bereich 30 mündet. Das zentrale Rohr 20 ist im Querschnitt sechseckig ausgebildet. Diese sechseckige Form ist in der Herstellung günstig und Pakete mit Trägerelementen 50 können der sechseckigen Form angepasst angeordnet sein. An-  
305 dere Geometrien sind ebenfalls möglich, z.B. kreisrund oder polygonal mit anderer Eckenzahl. Der untere Bereich 30 ist als Raum ausgebildet, in welchem bei Betrieb die schwebenden Mikroorganismen vorhanden sind. Über dem unteren Bereich 30 ist ein mittlerer Bereich 40, in welchem plattenförmige Trägerelemente 50 parallel angeordnet sind, so daß zwischen diesen Trägerelementen Durchströmungswege in vertikaler Richtung vorhanden sind. Diese  
310 Anordnung der Trägerelemente dient als Festbett zur Ansiedlung von Mikroorganismen.

Die Trägerelemente sind durchströmungsporös und aus einem Material, das im  
315 Wesentlichen aus miteinander vereinigten Kunststoff- und Blähtonteilchen gebildet ist. Ein solches Material ist in der bereits erwähnten Patentschrift DE 43 09 779 der gleichen Anmelderin beschrieben.

Die Platten besitzen bevorzugt einen Abstand von 3 bis 6 cm, insbesondere ist  
320 ein Abstand von 3,5 bis 5,5 cm bevorzugt. Die Trägerelemente sind, in der Draufsicht auf den Reaktorquerschnitt betrachtet, tangential in Paketen, welche Sechsecksegmente bilden, angeordnet. Andere Anordnungen sind ebenfalls denkbar, z.B. Anordnungen von rechteckigen Paketen, von Paketen mit der Grundform eines Vielecks oder Anordnungen mit gekrümmten Platten.

325

Um einen ausreichenden Biomasserückhalt sicherzustellen, ist im Reaktor ein Separatorsystem 90 angeordnet, welches aus schräggestellten Leitelementen 91, 92, 93, 94 gebildet ist. Diese Leitelemente verhindern einen Austrag von Feststoffteilchen, z.B. von gasbehafteten Pellets. Andere Anordnungen der Lei-  
330 telemente sind denkbar. Die Leitelemente 91, 92, 93, 94 können der Draufsicht

der sechseckigen bzw. vieleckigen Festbettform nachempfunden sein oder rund ausgeführt sein.

Die Strömungsführung ist anhand der Pfeile k, l, m, n, o, p, q und r ersichtlich.  
335 Das zu behandelnde Abwasser wird im Wesentlichen über die Zuleitung 60 zugeführt und saugt Flüssigkeit aus dem Außenraum 40 an und strömt beim Betrieb durch das zentrale Rohr 20 in den unteren Bereich 30, wo schwebende Mikroorganismen in Form von Pellets vorhanden sind. Ein Teilstrom wird wahlweise über das Rohr 80 zugeführt und durchmischt zusätzlich den unteren  
340 Teil des Reaktors 30. Ein an der inneren Reaktorwand umlaufendes Strömungshindernis 120, welches im unteren Bereich 30 des Reaktors angeordnet ist, dient zur Strömungsablösung, das zu behandelnde Abwasser kann so nicht bevorzugt an der Behälterwand aufströmen. Die verwendeten Mikroorganismen gehören zur Gattung Methanotrix. Aufgrund ihres Stoffwechsels bilden diese  
345 Bakterien Gase, welche in Form kleiner Bläschen an den Pellets haften. Dadurch steigen die Pellets auf und erzeugen eine zusätzliche Strömung des Abwassers. Dabei wird das zu behandelnde Abwasser an den Mikroorganismen auf den Trägerelementen vorbeigeführt und mit diesen in Kontakt gebracht. An einer aus Leitelementen 91, 92, 93 gebildeten Trennwand werden die Pellets zurück-  
350 gehalten, geben die Gasbläschen aufgrund der an den Leitelementen erfolgenden Agitation ab und können dann aufgrund ihrer im Vergleich zum Abwasser höheren Dichte durch das zentrale Rohr 20 wieder in den unteren Bereich 30 absinken. Die Trennwand bildet einen Gassammelungsraum 96, in welchem sich Gas sammeln und über eine erste Gasableitung 98 abgeführt werden kann.

355 Diese aus den Leitelementen 91, 92, 93 gebildete Trennwand überdeckt den Großteil des Reaktorquerschnitts und läßt zwischen ihrem äußeren Rand und der Reaktorwand eine Ringfläche frei. Ein Teil der Strömung entlang der Trägerelemente wird am äußeren Rand der Trennwand, 91, 92, 93 abgezweigt. und  
360 aus dem oberen Bereich oberhalb der Trennwand 91, 92, 93 und unterhalb der Leitelemente 94 durch einen Entnehmer für Abwasser 100, 101 abgezogen und über ein Rezirkulationssystem 130 im Umlauf wieder dem Reaktor zugeführt.

Die Leitelemente 94 bilden im oberen Bereich des Reaktors oberhalb der  
365 Trennwand 91,92, 93 und oberhalb des Entnehmers des Rezirkulationssystems  
eine Beruhigungszone aus welcher über ein Abzugssystem 70 behandeltes Ab-  
wasser aus dem Reaktor entnommen werden kann.

Die entstandenen Gase können über eine zweite Gasableitung 110 am oberen  
370 Ende des Reaktors abgeführt werden.

Bevorzugte Entnehmer des Rezirkulationssystems sind in den Fig. 2A, 2B und  
2C gezeigt.

375 Fig. 2A zeigt den sogenannten Doppelplattenabzug. Er besteht aus zwei im Ab-  
stand von 40 bis 70 mm übereinander angeordneten kreisförmigen Platten,  
zwischen denen zentral die Flüssigkeit abgezogen wird. Diese Anordnung ge-  
währleistet ein Abziehen bei langsamer Strömungsgeschwindigkeit am Au-  
ßenumfang der Platten.

380

In Fig. 2B ist eine Ringleitung mit Löchern dargestellt. Um einen gleichmäßigen  
Flüssigkeitsabzug zu gewährleisten sind die Löcher, wie in Fig. 2 dargestellt, mit  
unterschiedlicher Größe ausgeführt.

385 In Fig. 2 C ist ein sternförmiger Rohrabzug dargestellt, wodurch die Flüssigkeit  
an 6 Stellen entnommen wird. Wenn die Rohrenden mit T-Stücken versehen  
werden (mit unterbrochener Linie dargestellt), kann die Flüssigkeit an 12 Stellen  
abgezogen werden.

390 In Figur 2D ist ein Abzugssystem mit einer getauchten Abzugrinne mit Ab-  
zugslöchern dargestellt. Die Lochgröße und Anzahl der Löcher sind so gewählt,  
dass eine gleichmässige Abführung des behandelten Abwassers sichergestellt  
ist.

395 Die notwendige Umlaufwassermenge für die Zuleitung bei 60 wird über das  
Rezirkulationssystem 130 genommen. Erstmals dem Reaktor zuzuführendes  
Abwasser kann über die Leitung 132 in das System eingeführt werden. Bei Be-

darf, bzw. in periodischen Abständen wird ein Teil des zu- bzw. umlaufenden Abwassers über das Rohr 80 als Treibstrahl in den unteren Bereich des Reak-  
400 tors geleitet, um die dort vorhandene Biomasse (die Mikroorganismen-Pellets) aufzuwirbeln. Bei größeren Reaktoren können mehrere Treibstrahlmündungen vorgesehen sein, um eine Aufwirbelung der Biomasse zu erreichen.



## PATENTANSPRÜCHE

405

1. Reaktor zur anaeroben Abwasserbehandlung, aufweisend folgende Merkmale:

410

(a) ein zentraler, von oben nach unten führender Strömungskanal, der oben mit einem ersten Abstand von der oberen Reaktorbegrenzung endet und unten mit einem zweiten Abstand von der unteren Reaktorbegrenzung endet;

415

(b) in dem Ringraum zwischen dem zentralen Strömungskanal und der Reaktorwand sind für die gesamte Höhe des Strömungskanals oder für einen Teil der Höhe des Strömungskanals Trägerelemente zum Immobilisieren von Mikroorganismen in Form eines strukturierten, geordneten Festbetts positioniert, wobei zwischen benachbarten Trägerelementen Durchströmungswege vorhanden sind;

420

(c) ein unterer Bereich des Reaktors zwischen seiner unteren Begrenzung und den Trägerelementen ist als Raum ausgebildet, der dafür bestimmt ist, beim Betrieb des Reaktors Abwasser mit darin schwebenden Mikroorganismen aufzunehmen;

425

(d) ein oberer Bereich des Reaktors zwischen seiner oberen Begrenzung und den Trägerelementen;

(e) der Reaktor ist hinsichtlich seiner Innenströmung als Schlaufenreaktor ausgebildet derart, dass enthaltenes Abwasser durch den zentralen Strömungskanal nach unten, dann durch den Raum im unteren Bereich, dann an den Trägerelementen entlang nach oben, und schließlich wieder in den zentralen Strömungskanal zirkuliert werden kann.

430

(f) eine Zuleitung für erstmalig in den Reaktor einzubringendes, zu behandelndes Abwasser;

(g) ein Abzugssystem zum abschließenden Ausbringen von behandeltem Abwasser aus dem Reaktor.

435

2. Reaktor nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Raum im unteren Bereich dafür bestimmt  
ist, Abwasser mit darin schwebenden Mikroorganismen-Pellets aufzuneh-  
men.  
440
3. Reaktor nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass plattenförmige Trägerelemente vorgesehen  
sind.  
445
4. Reaktor nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass über den Umfang des Reaktors verteilt  
mehrere Pakete von Trägerelementen angeordnet sind, wobei jeweils in-  
nerhalb des Pakets die plattenförmigen Trägerelemente parallel zueinander  
und in Tangentialrichtung des Reaktors angeordnet sind.  
450
5. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Strömungswege zwischen benachbarten  
Trägerelementen 3 bis 6 cm, bevorzugt 3,5 bis 5,5 cm, breit sind.  
455
6. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, dass durchströmungsporöse Trägerelemente  
vorgesehen sind.
- 460 7. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet, dass Trägerelemente vorgesehen sind, die im  
wesentlichen aus miteinander vereinigten Kunststoff-Teilchen und Bläh-  
ton-Teilchen bestehen.
- 465 8. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
gekennzeichnet durch ein Rezirkulationssystem, welches einen Entnehmer  
für Abwasser und einen Zuführer für Abwasser zur Strömungsabgabe in  
den zentralen Strömungskanal aufweist.
- 470

9. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Entnehmer einen Zwischenraum zwischen zwei plattenartigen Elementen und eine in dem Zwischenraum beginnende Leitung aufweist.
- 475 10. Reaktor nach einem der Ansprüche 8 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Abzugssystem ein Stück oberhalb des Entnehmers des Rezirkulationssystems positioniert ist.
- 480 11. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass im oberen Bereich des Reaktors, unterhalb des Abzugssystems, ein Separatorsystem vorgesehen ist, das dem Zurückhalten der im Abwasser schwebenden Mikroorganismen in dem Reaktor dient.
- 485 12. Reaktor nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Separatorsystem eine Trennwand mit Abstand oberhalb des oberen Endes des zentralen Strömungskanals aufweist, welche einen Großteil des Reaktorquerschnitts überdeckt und eine  
490 äußere Ringfläche freilässt.
13. Reaktor nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Trennwand bereichsweise nicht-horiz-  
ontal verläuft und in einem höchsten Bereich einen Gassammelungsraum  
495 bildet.
14. Reaktor nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet, dass von dem höchsten Bereich die Trennwand –  
grob gesprochen – schräg nach aussen abwärts und schräg nach innen  
500 abwärts verläuft.
15. Reaktor nach einem der Ansprüche 12 bis 14,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Entnehmer des Rezirkulationssystems an der Oberseite der Trennwand positioniert ist.

505

16. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 15,  
dadurch gekennzeichnet, dass im oberen Bereich des Reaktors eine erste  
Abführungsleitung für in dem Reaktor gebildetes Gas beginnt.

510

17. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 16,  
dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich der Trennwand eine zweite Ab-  
führungsleitung für in dem Reaktor gebildetes Gas beginnt.

515

18. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 17,  
dadurch gekennzeichnet, dass in 15 bis 40%, vorzugsweise 20 bis 30%, des  
Reaktorvolumens Trägerplatten positioniert sind.

520

19. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 18,  
dadurch gekennzeichnet, dass im unteren Bereich des Reaktors ein Strö-  
mungsumlenker an der Wand positioniert ist.

525

20. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 19,  
gekennzeichnet, durch mindestens eine Treibstrahlmündung, die unter-  
halb des unteren Endes des zentralen Strömungskanals endet.

530

21. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 20,  
dadurch gekennzeichnet, dass er so ausgelegt ist, dass als immobilisierte  
Mikroorganismen einerseits und als schwebende Mikroorganismen ande-  
rerseits unterschiedliche Arten von Mikroorganismen vorgesehen sind.

535

22. Verfahren zur anaeroben Abwasserbehandlung in einem Reaktor, in wel-  
chem zu behandelndes Abwasser zirkuliert, dergestalt, daß Abwasser

(a) zentral von oben nach unten strömt;

(b) dann in einem Raum im unteren Bereich des Reaktors mit in dem Ab-  
wasser schwebenden Mikroorganismen in Kontakt ist;

540 (c) dann in einem darüber befindlichen Raum des Reaktors an Mikroorganismen entlang strömt, die in Form eines strukturierten geordneten Festbetts auf Trägerelementen angeordnet sind;

(d) und schließlich wieder in die zentrale Strömung von oben nach unten übergeht.

545

23. Verfahren nach Anspruch 22,  
dadurch gekennzeichnet, dass nach Entlangströmen an den Mikroorganismen auf den Trägerelementen ein Teil des Abwassers abgezweigt und in den zentralen Strömungskanal eingepumpt wird.

550

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 23,  
dadurch gekennzeichnet, dass im Behandlungsraum schwebende Mikroorganismenpellets vorhanden sind.

555

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24,  
dadurch gekennzeichnet, dass die im Abwasser schwebenden Mikroorganismen durch ein Separatorsystem in dem Reaktor zurückgehalten werden.

560

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 25,  
dadurch gekennzeichnet, dass als immobilisierte Mikroorganismen einerseits und als schwebende Mikroorganismen andererseits unterschiedliche Arten von Mikroorganismen vorgesehen sind.

565

27. Verwendung des Reaktors gemäß einer der Ansprüche 1 bis 21 oder des Verfahrens gemäß einer der Ansprüche 22 bis 26 zur anaeroben Abwasserbehandlung einer Anlage der Getränke-, Futtermittel- oder Lebensmittelindustrie.

570

28. Verwendung des Reaktors gemäß einer der Ansprüche 1 bis 21 oder des Verfahrens gemäß einer der Ansprüche 22 bis 26 zur anaeroben Abwasserbehandlung einer Anlage der Papier- oder Textilindustrie.